

Las cubiertas ecológicas de tercera generación: un nuevo material constructivo

The ecological rooftops of third generation: an new constructive material

F. J. Neila*, C. Bedoya*, C. Acha*, F. Olivieri*, M. Barbero*

RESUMEN

En 1994 se inició una investigación que dio como resultado la construcción de la primera cubierta ecológica en España. Desde ese momento se han realizado modificaciones en su estructura constructiva, en el sustrato empleado y en las plantas empleadas, con la intención de optimizar su comportamiento, adaptándola a las condiciones climáticas que se padecen de España. Todas estas modificaciones han sido ensayadas y se ha evaluado rigurosamente su comportamiento energético. El resultado ha culminado en un modelo de cubierta, ya de una tercera generación, denominada como cubierta ecológica jardín. En este artículo se muestran, tanto los resultados de la investigación previa, como los correspondientes a la fase final que culminó con ese nuevo modelo, considerado como un nuevo material constructivo, plenamente sostenible.

310-13

Palabras clave: cubiertas ecológicas; ahorro de energía; arquitectura bioclimática; aislamiento térmico.

1. INTRODUCCIÓN

La investigación, desarrollada desde 1994 hasta nuestros días ha constado hasta el momento de cinco grandes fases. La fase 5, sobre la que aún se trabaja, ha dado lugar a un nuevo concepto de cubierta vegetal, la cubierta ecológica de tercera generación, que se puede considerar un nuevo material constructivo por sus cualidades singulares.

En este artículo se van a exponer los antecedentes de esta investigación, mostrando las

SUMMARY

In 1994, the first ecological roof in Spain was built as a result of a research process. The structure of the construction, the substrate, and the chosen plants have been modified since then, in order to make the environmental properties optimum and to adapt it to extreme climatic conditions such as Spanish dry summers and frosted winters. All these changes have been tested and the energetic attitude has been studied. The best result is represented by a third generation roof model, called as an ecological garden roof. The present article describes the results obtained from the previous research as well as the final process results.

Keywords: ecological rooftops; energy saving; bioclimatic architecture; thermic isolation.

fases anteriores con los resultados obtenidos en ellas, para finalmente, mostrar las mayores novedades obtenidas en la última fase.

2. ANTECEDENTES

Los objetivos generales de esta investigación fueron posibilitar la construcción de la primera cubierta ecológica en España, adaptar la cubierta a las condiciones climáticas y constructivas españolas, y analizar experimentalmente el comportamiento térmico

* Miembros del Grupo de Investigación de la UPM ABIO. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid, España.

de la cubierta ecológica, su influencia en el consumo de energía, en las condiciones de bienestar y en el medio ambiente, así como su viabilidad constructiva.

3. FASES PREVIAS DEL PROYECTO

A pesar de la gran superficie natural¹ en Alemania o Suiza, no existían estudios ni investigaciones científicas sobre su comportamiento preciso, quizá porque estas cubiertas, debido a los climas donde se construían, crecían sin grandes dificultades. Para transponer esta solución constructiva a España era necesario desarrollar una investigación profunda que adaptará la solución a otras necesidades, cuantificará su efectividad y justificará la inversión adicional que debería producirse.

La investigación, desarrollada desde 1994 hasta nuestros días ha constado de cinco fases hasta el momento:

- FASE 1: Desarrollo de la Cubierta Ecológica de Economía 1. Primera cubierta ecológica construida en España (1994)
- FASE 2: Desarrollo de las Cubiertas Ecológicas de Fitotecnia. Primera cubierta ecológica monitorizada en el mundo (1996)
- FASE 3: Desarrollo de la Cubierta Ecológica de Economía 2. Segunda cubierta ecológica monitorizada en el mundo (1997)
- FASE 4: Desarrollo de las Cubiertas Ecológicas Aljibe 1. Primera cubierta monitorizada a escala natural (1998)
- FASE 5: Desarrollo de las Cubiertas Ecológicas Aljibe 2. Segunda cubierta monitorizada a escala natural (2002)

En 1994 se construyó la primera cubierta ecológica en España con el asesoramiento y la tutela de la Universidad Humboldt de Berlín, sobre la cubierta del Departamento de Economía de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid.

En 1996 se inicia la fase 2 de la investigación. Sobre una superficie muy superior a la anterior (400 m²), la cubierta del edificio de Fitotecnia en el campo de pruebas de la Escuela de Agrónomos de Madrid, se decidió construir una cubierta ecológica monitorizada donde pudieran estudiarse distintas soluciones constructivas, materiales y especies vegetales, y su comportamiento energético. Iba a ser la primera cubierta ecológica monitorizada del mundo. Se construyeron 50 módulos de cubierta diferentes, todos ellos monitorizados, cuyos datos de comportamiento térmico se volcaban en tiempo real en Internet para poder acceder a ellos de forma remota. Los retenedores de agua que se estudiaron fueron láminas en forma de fieltros y fibras, contenedores en forma de minidepósitos y aljibes, en

los que se podía acumular más cantidad de agua; este agua se hacía ascender hasta el sustrato por una mecha conformada por el propio separador, un fieltro geotextil, que se introducía entre las baldosas hasta alcanzar el agua del aljibe.

Sin abandonar la investigación en la cubierta se Fitotecnia, que seguía proporcionando datos, se decidió desmontar la cubierta original de Economía y montar en ella otra nueva sobre una cámara de aire donde se dieran condiciones térmicas estables. Esta cubierta también estuvo monitorizada en todos sus módulos con sensores en todas sus capas, utilizando los datos climatológicos que proporcionaba la centralita de Fitotecnia, dada su proximidad. En esta cubierta, más rigurosa gracias a la cámara de aire, la investigación fue similar a la de Fitotecnia, aunque se investigaron elementos complementarios, como nuevos retenedores de agua. Fueron ocho módulos con vegetación, de 8,64 m² cada uno, y dos módulos testigo, uno con arcilla expandido y otro con picón volcánico, como único recubrimiento.

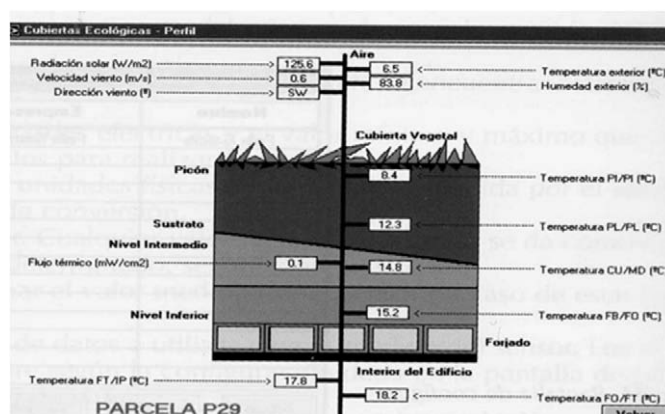
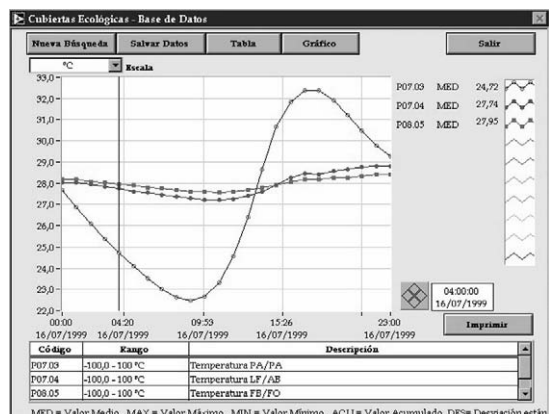
Gracias a la cámara situada debajo de la cubierta de Economía 2 se podía comparar rigurosamente las temperaturas, y todos estos resultados seguían siendo plenamente válidos para sacar conclusiones sobre retenedores, sustratos, o especies vegetales, no obstante no se podían utilizar para la evaluación de consumos energéticos. Para obtener un condiciones de ensayo plenamente rigurosas en este sentido se decidió construir una cubierta ecológica monitorizada a escala natural, en las que todos los elementos, incluido el local bajo la cubierta estuvieran plenamente controlado.

4. CUBIERTA ECOLÓGICA MONITORIZADA A ESCALA NATURAL

Esta fase del proyecto daría como resultado inmediato la construcción de un edificio experimental en Colmenar Viejo (Madrid), donde se centraría la investigación en las cubiertas ecológicas aljibe, que eran las que mejor resultado estaban dando en las fases anteriores². El proyecto se denominó Módulos 1 y tenía como objetivos generales el estudio a escala natural de los efectos que la cubierta ecológica aljibe tiene sobre el ahorro energético en los edificios, perfeccionar la construcción de cubiertas ecológicas aljibe, tanto desde un punto de vista técnico-constructivo como económico y evaluar las ventajas que esta cubierta proporciona al medio ambiente y al edificio. Como objetivos complementarios se plantearon, junto con la determinación del ahorro energético

¹ Recuperación con la cubierta vegetal de la superficie vegetal destruida por la construcción.

² La construcción se realizó en las instalaciones de la empresa INTEMPER, que se encargó de su financiación con la ayuda de diversos programas de investigación: Proyecto de Desarrollo e Innovación Tecnológica: C.D.T.I., Internacionalización de actividades de I+D+i del entorno productivo, "PROYECTO DE INNOVACIÓN IBEROEKA" en la reunión, celebrada en Guatemala el día 17/11/98, de la Asamblea General del Programa CYTED (Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo), PAEE, Plan de Ahorro y Eficiencia Energética del Instituto para la Diversificación y Ahorro Energético (IDAE) del Ministerio de Industria y Energía, Programa ATYCA del Ministerio de Industria y Energía, y Programa para la realización de proyectos de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la Dirección General de Investigación de la Comunidad de Madrid.



que proporciona cada sistema en función de la altura del agua, del tipo de plantas y de la composición de cada sistema, que era el objetivo básico, la iniciación de un catálogo de plantas idóneas para la una cubierta ecológica aljibe, la determinación de la altura idónea de agua, en función del clima, de la pluviometría de la zona y el desarrollo de las plantas, y la evaluación de la cantidad y calidad del agua sobrante de todas las cubiertas que evacuan a la red general del alcantarillado y su influencia en el control de la contaminación.

La cubierta consta de 20 módulos de 4,2x4,2 m, todos ellos con sensores de temperaturas en todas sus capas; a estos datos se añadía información sobre los consumo de energía mediante un nuevo procedimiento.

Para poder evaluar los consumos energéticos se construyeron seis locales independientes de 2,7 m de altura, completamente aislados entre sí, situados debajo de las seis parcelas centrales, de tal modo que todas las transferencias de calor se produjeran única y exclusivamente por la cubierta.

Un sistema de acondicionamiento, consistente en seis ventilosconvectores de 4 tubos, uno en cada uno de las celdas, mantiene en el interior de los recintos cerrados una temperatura constante entre 20 y 22 °C.

Mediante los registros de temperaturas de salida y de entrada del agua y caudalímetros se evalúan los consumos de energía para mantener constante la temperatura.

Los datos térmicos obtenidos en todas las cubiertas son:

- Temperatura del aire sobre la cubierta (a 20 cm)
- Temperatura superficial del sustrato
- Temperaturas en el interior del sustrato
- Temperaturas entre todas las capas de la cubierta
- Temperatura del agua del aljibe



- Dentro de la cámara:
 - Temperatura del techo
 - Temperatura del suelo
 - Temperatura del aire a media altura

A estos datos se añaden, de los seis módulos centrales el consumo de energía para mantener un rango de temperaturas de 20/22 ± 1 °C. En las figuras 7 y 8 se muestran algunos datos de consumo de calentamiento y enfriamiento, con el esquema de la solución constructiva donde se aprecia un menor consumo energético, y por tanto, la considera como mejor solución.

Para condiciones de invierno las diferencias entre cubiertas son pequeñas, pero aparece como mejor, frente a las cubiertas invertidas convencionales, una cubierta ecológica con un aljibe de 8 cm.

Para condiciones de verano las diferencias entre cubiertas son mucho más grandes, determinándose grandes diferencias entre las cubiertas ecológicas y las cubiertas invertidas; en este caso la solución mejor es similar a la anterior pero en este caso con un aljibe de 16 cm.

1.- Datos numéricos y gráficos de la evolución de los datos de cualquier sensor, y un histórico de datos anteriores acumulados.

2.- Cubierta ecológica de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales de la Universidad Complutense de Madrid.

ESTACION METEOROLOGICA

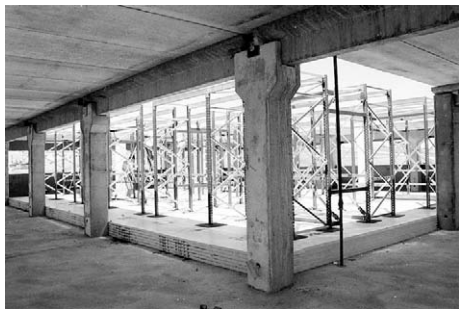
EDIFICIO EXPERIMENTAL. PLANTA DE CUBIERTA

MODULO 1	MODULO 2	MODULO 3	MODULO 4
Rosmarinus officinalis Spartium junceum	Viola wittrockiana	Vinca major Vinca minor	Lampranthus nodiflorus
Altura agua 16 cm	Altura agua 16 cm	Altura agua 16 cm	Altura agua 16 cm
MODULO 5	MODULO 6	MODULO 7	MODULO 8
Saxifraga arendsii	SIN PLANTAS	Cotoneaster horizontalis	Thymus serpyllum
Thymus mastichina		Lonicera nitida	Sedum sexangulare
Altura agua 16 cm	Altura agua 16 cm	Altura agua 16 cm	Altura agua 16 cm
MODULO 9	MODULO 10	MODULO 11	MODULO 12
Lampranthus nodiflorus	SIN PLANTAS	Cotoneaster horizontalis	Thymus serpyllum
Altura agua 8 cm	Altura agua 8 cm	Lonicera nitida	Sedum sexangulare
			Thymus mastichina
			Altura agua 8 cm
MODULO 13	MODULO 14	MODULO 15	MODULO 16
Aptenia cordifolia	CUBIERTA TESTIGO TF	CUBIERTA TESTIGO	Dianthus deltoides
Altura agua 8 cm	Altura agua 0 cm	Altura agua 0 cm	Armeria maritima
			Mesembrianthemum-1
			Mesembrianthemum-2
			Altura agua 8 cm
MODULO 17	MODULO 18	MODULO 19	MODULO 20
Cerastium tomentosum	Sedum sediforme	Sedum sediforme	Sedum floriferum
Altura agua 8 cm	Sedum album micranthemum	Sedum album micranthemum	Sempervivum arachnoideum
	Sedum acre	Sedum acre	Sedum spathulifolium
	Altura agua 0 cm	Altura agua 0 cm	Altura agua 8 cm

3.- Planta de la cubierta ecológica de Colmenar Viejo (Madrid), en la que se ve la disposición de todos los módulos.

4.- Fotos del proceso de construcción de la instalación donde se aprecia el aislamiento entre locales.

5.- Foto del aspecto de los módulos de la cubierta ecológica de Colmenar Viejo (Madrid).



También se hicieron análisis de laboratorio de los sustratos empleados y se desarrolló un algoritmo matemático que reproducía los resultados experimentales que se estaban obteniendo del comportamiento conjunto de la vegetación y el sustrato. Los ensayos proporcionaron valores muy bajos de la conductividad térmica del sustrato seco (0,065 W/m·K), y algo mayores para el sustrato con la humedad natural que debería mantener para el crecimiento de las plantas (0,192 W/m·K)³. Con los datos de los ensayos se pudieron elaborar gráficas donde se mostraba la evolución de la conductividad térmica con diferentes grados de humedad y con la colmatación natural que se produce en el sustrato con el paso del tiempo.

Basados en los estudios de la fisiología vegetal de la planta y sus intercambios energéticos, de los resultados experimentales y de los ensayos de laboratorio, se desarrolló un modelo de simulación del comportamiento del sustrato y la vegetación. Este modelo permitiría obtener datos del comportamiento de cualquier superficie vegetal y aplicarlo a procesos de simulación de comportamiento térmico. Los valores aproximados de este modelo eran el de una sustancia con una conductividad térmica de aproximadamente 0,12 W/m·K, lo que equivale a valorar cada 4 cm de vegetación más sustrato como 1 cm de aislante térmico convencional.

5. CONCLUSIONES PARCIALES

Las conclusiones que se obtuvieron, tanto de los ensayos como de las simulaciones con otras cubiertas no construidas, fueron:



Sobre la vegetación:

- Sedum: mayor resistencia a la sequía pero bajo poder tapizante
- Aptenia: mayor poder tapizante pero baja resistencia a las heladas
- Coneaster horizontalis y Lonicera nítida: mejor comportamiento de las especies estudiadas

Sobre el sustrato:

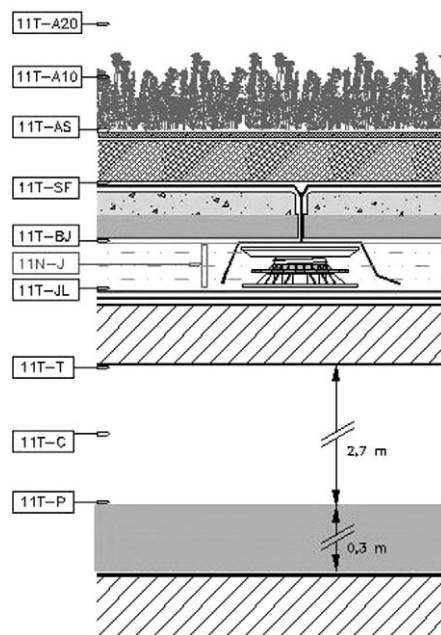
- Corteza de pino con 10% lodos compostados: mejor desarrollo de la vegetación
- Picón y arcilla expandida: mayor resistencia a las malas hierbas
- Arcilla expandida: menores temperaturas y mayor aislamiento
- Sustratos con gel: peor comportamiento de los sustratos estudiados

Sobre los elementos de drenaje y/o retenedores:

- Placas sintéticas: buena capacidad de drenaje y poca capacidad retenedora para las condiciones del ensayo (6 l/m²)
- Lana de roca cohesionada: buena capacidad de drenaje y retención (20 l/m²)
- Sistema aljibe: excepcional capacidad de drenaje y retención (80...160 l/m²)
- Gel: mal comportamiento

Sobre el resto de los elementos constructivos:

- Aislamiento térmico: menores consumos de energía con pocas diferencias entre los distintos sistemas de cubiertas

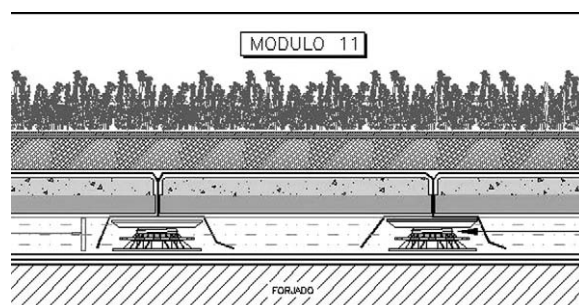
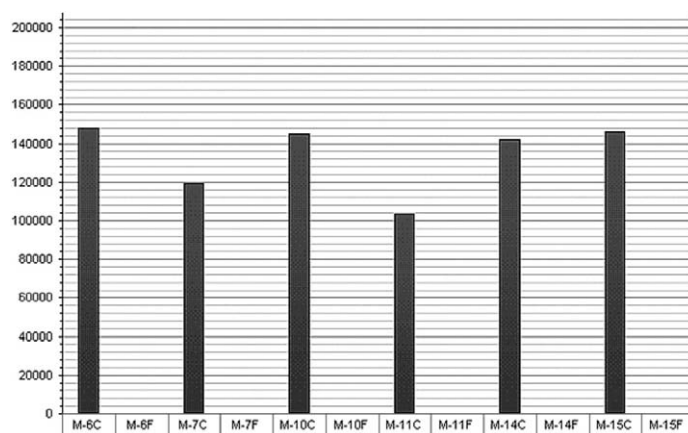


6

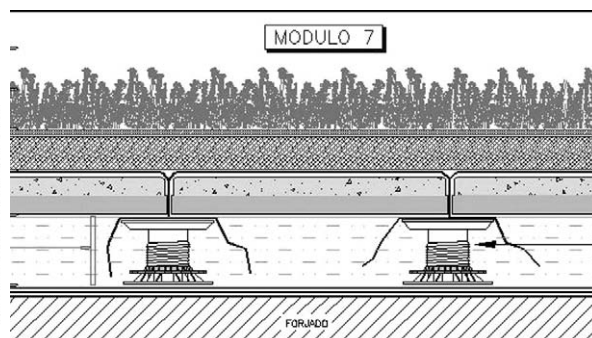
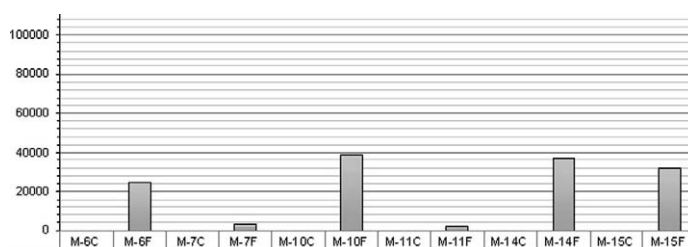
6.- Sección tipo de un módulo, incluyendo el local situado debajo.

7.- Consumos de calefacción y sección del módulo 11, donde se aprecia el menor consumo.

8.- Consumos de refrigeración y sección del módulo 7, donde se aprecia el menor consumo.



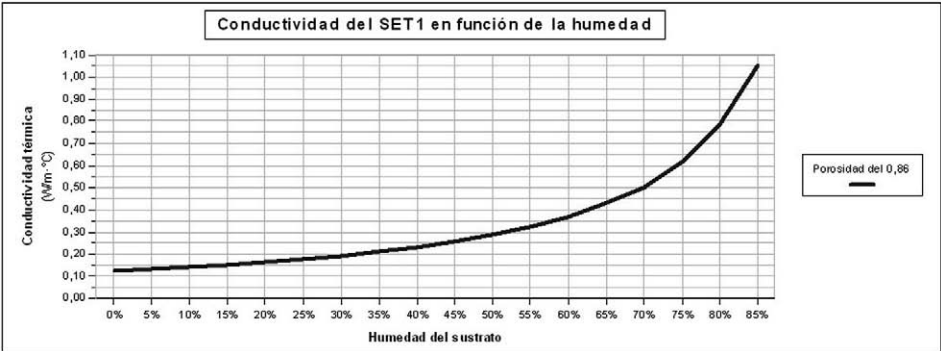
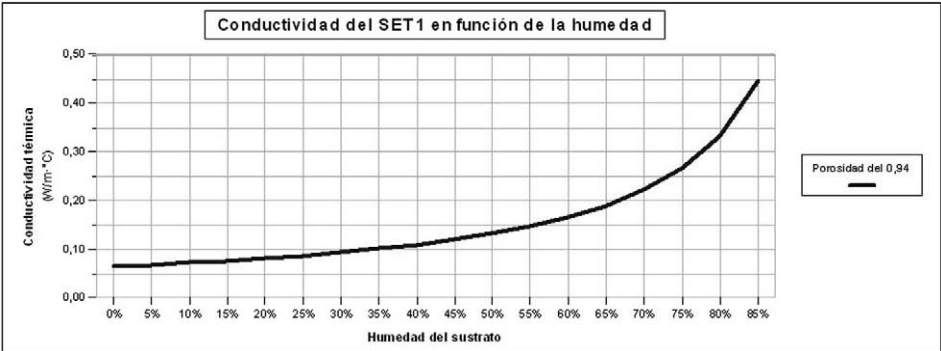
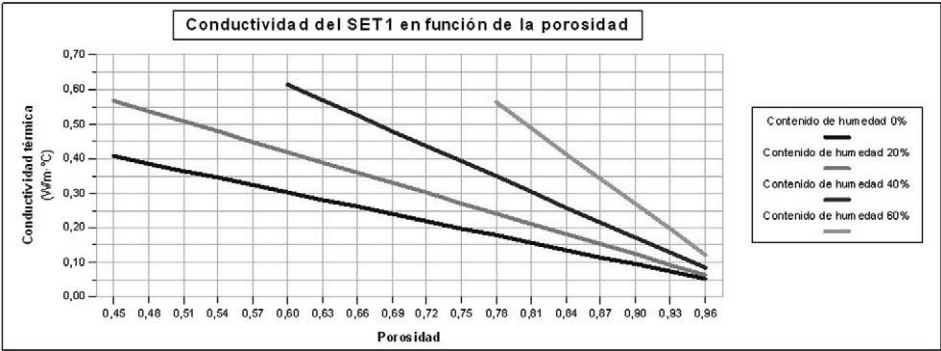
7



8

9.- Gráficos con la evolución de la conductividad térmica bajo diferentes condiciones.

10.- Imagen de las nuevas cubiertas ecológicas de tercera generación, las cubiertas ecológicas jardín.



9



10

- Membranas de impermeabilización: ninguna diferencia en el comportamiento térmico entre las membranas bituminosas o de PVC, ni en el desarrollo de la vegetación

Sobre el comportamiento global de las cubiertas ecológicas aljibe:

Verano:

- Cubierta ecológica aljibe con aislamiento:
 - Comportamiento energético óptimo
 - Menores consumos energéticos
 - Temperaturas menores en todos los niveles analizados que en las cubiertas convencionales
 - Menores oscilaciones térmicas
 - Mayores amortiguaciones
- Cubierta ecológica (sin aljibe) con aislamiento:
 - Comportamiento peor que el de las cubiertas con aljibe

Invierno:

- Cubierta ecológica aljibe con aislamiento:
 - Menor consumo energético
- Cubierta ecológica (sin aljibe) con aislamiento:
 - Comportamiento similar al de la cubierta plana con aislamiento

De los resultados obtenidos se deducían cuáles eran los grandes problemas, como la lentitud de crecimiento inicial, ya que el aljibe asegura la supervivencia de las plantas pero no su rápido desarrollo y que se reduce la benéfica influencia de la vegetación en invierno, para lo cual era necesario traba-

jar sobre nuevas soluciones más adecuadas para condiciones predominantemente de invierno.

6. FASE 5 DEL PROYECTO

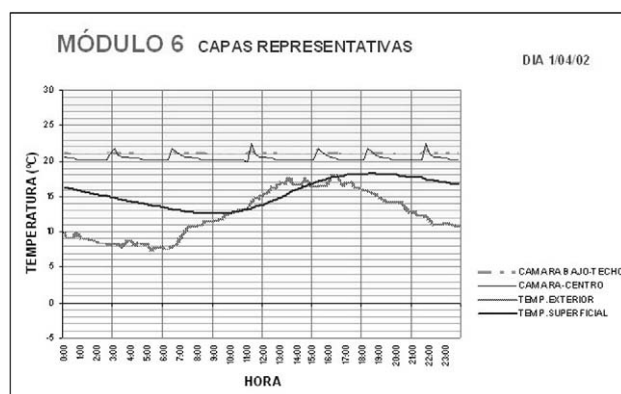
En 2002 se dio por concluida la fase 4 de la investigación al entender que ya se habían obtenido todos los datos deseados como para cubrir los objetivos propuestos.

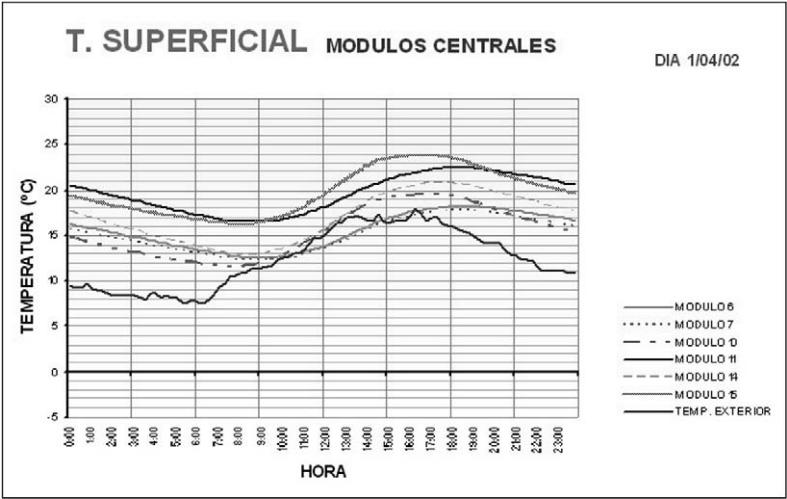
Por tanto, se decidió desmontar la cubierta montada en Colmenar Viejo, e iniciar una nueva fase, la quinta. Se desmontó toda la cubierta existente y se procedió a la construcción de las nuevas cubiertas que se querían monitorizar, con la intención de dar un giro en el desarrollo de estas cubiertas y entrar en una tercera generación de cubiertas ecológicas.

La primera generación representaba las cubiertas ecológicas tradicionalmente construidas en Europa, la segunda estaba representada por las cubiertas aljibes, la mejor solución para climas secos y la tercera debía suponer un cambio drástico en la imagen exterior y el comportamiento de la cubierta, convirtiéndolas en cubiertas ecológicas jardín, denominación utilizada por primera, y que servirá para representar a este nuevo tipo de cubiertas ecológicas en foros técnicos especializados.

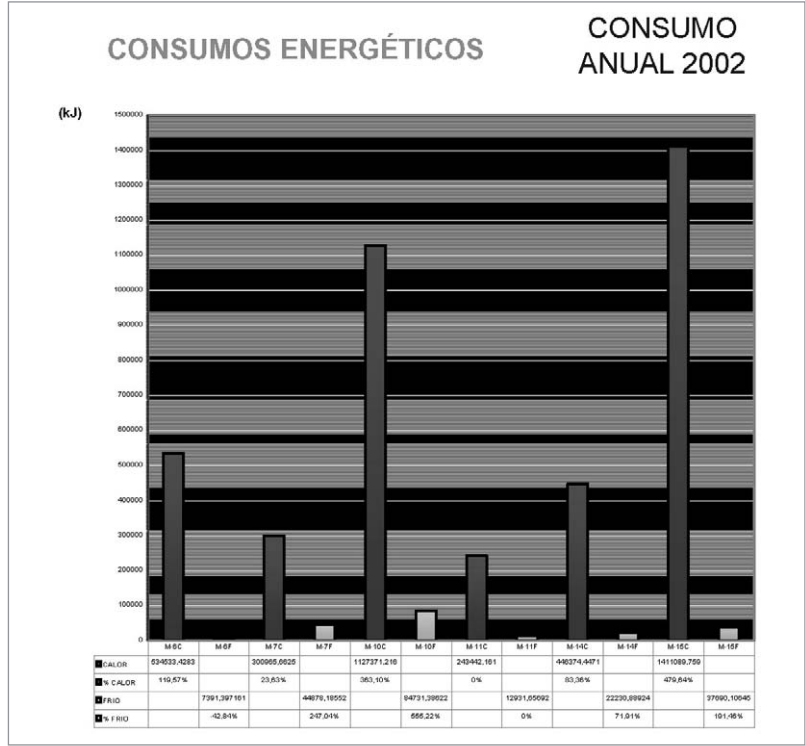
De los resultados obtenidos se había podido constatar que el agua del aljibe es capaz de mantener viva una cierta variedad de vegetación y conseguir de ese modo grandes ventajas energéticas. No obstante el desarrollo de esa vegetación era lento, condicionado por la cuantía del agua y, por tanto, la presencia de superficie desnuda durante el proceso de crecimiento seguía siendo frecuente, lo que reducía el ahorro energético. Por otro lado, la variedad de especies vegetales continuaba condicionando la imagen de la cubierta, uno de los objetivos que se fijó nada más iniciarse el proyecto en 1994.

11.- Datos del comportamiento térmico de las diferentes capas de un módulo con la foto del estado de la vegetación en ese momento.





12



12.- Datos comparativos de la temperatura superficial de las seis cubiertas ecológicas centrales.

13.- Consumos de calefacción y de refrigeración de las seis cubiertas ecológicas centrales y esquema de las dos con menores consumos totales: los módulos 7 y 11.

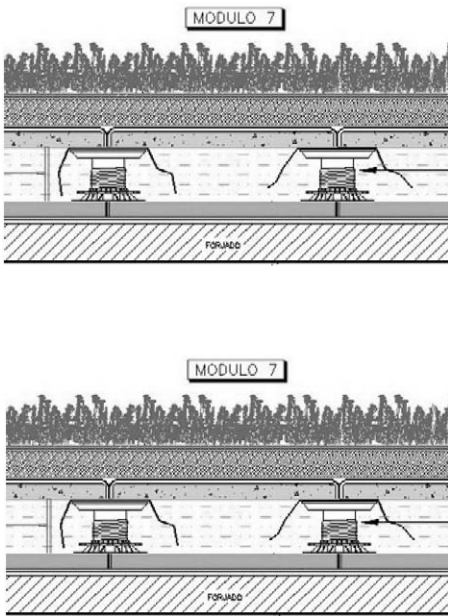
Llegado este momento, se decidió implantar un sistema de aporte de agua controlado directamente al aljibe, que permitiera modificar drásticamente los resultados sin desvirtuar la filosofía inicial de las cubiertas ecológicas, lo que previsiblemente supondría un desarrollo más rápido de la vegetación con mayor producción de biomasa y, por tanto, menores consumos energéticos. Lógicamente, también otro de los resultados sería una mayor cantidad de especies vegetales compatibles.

Representaron singularidades de la investigación con respecto a las fases anteriores, dado que se han seguido tomando datos de temperaturas de todas las capas y de consumos energéticos, la evaluación de la aportación del agua y sus efectos en el crecimiento de

la vegetación y los consumos de energía. Igualmente, se obtuvieron resultados sobre las nuevas especies vegetales con las que se podría trabajar.

Aunque en la etapa anterior del proyecto se habían obtenido resultados de consumo energético, en esa fase sobre la cubierta de Colmenar Viejo sólo hubo dos cubiertas vegetales que se comparaban con cubiertas convencionales para determinar sus ventajas. En esta nueva etapa todas eran cubiertas ecológicas y, por tanto, se comparó el comportamiento energético entre cubiertas ecológicas.

A los dispositivos de control se añadió un procedimiento fotográfico que permitiera relacionar consumos con aspecto de la vegetación. De este modo, los datos siempre



13

están relacionados con la foto de la parcela en ese momento, lo que incorpora al análisis de resultados el estado de la vegetación.

Si se carece de este dato se puede achacar un mal resultado energético a la mala configuración de la cubierta cuando tal vez sea el pobre desarrollo de la vegetación el culpable.

De los consumos anuales se pueden extraer conclusiones sobre los módulos que consumen más energía en periodo de invierno para mantener los 20 °C en el interior del local y los que consumen menos. Concretamente son módulos con aljibe y con aislamiento convencional, ya sea sobre (módulo 11) o bajo el aljibe (módulo 7).

Cubierta	M2-15 V	M2-10 VA8	M1-6 A16 +aisl	M1-15 INV	M1-10 A8 +aisl	M1-14 INV	M1-7 VA16 +aisl	M1-11 VA8 +aisl	M2-6 VA8 +aisl	M2-14 V +aisl	M2-7 VA8 +aisl*	M2-11 VA8 +aisl
Reducción (%)	+65,89	+38,79	+12,87	+6,41	+5,67	0,00	-14,05	-19,38	-37,95	-46,34	-60,40	-70,65
Calent (MJ)	1448,78	1212,10	985,76	929,32	922,90	873,36	750,64	704,07	541,92	468,61	345,84	256,37

14.- Tablas de los consumos energéticos comparados con los de una cubierta invertida convencional.

Cubierta	M2-15 V	M2-10 VA8	M1-10 A8 +aisl	M1-14 INV	M1-15 INV	M2-14 V +aisl	M2-7 VA8 +aisl*	M1-6 A16 +aisl	M2-11 VA8 +aisl	M2-6 VA8 +aisl	M1-11 VA8 +aisl	M1-7 VA16 +aisl
Reducción (%)	+42,32	+7,97	+2,90	0,00	-1,45	-2,39	-23,19	-23,91	-76,09	-78,99	-91,30	-91,30
Enfriam (MJ)	65,32	49,56	47,23	45,90	45,23	44,80	35,26	34,92	10,98	9,65	3,99	3,99

Cubierta	M2-15 V	M2-10 VA8	M1-6 A16 +aisl	M1-15 INV	M1-10 A8 +aisl	M1-14 INV	M1-7 VA16 +aisl	M1-11 VA8 +aisl	M2-6 VA8 +aisl	M2-14 V +aisl	M2-7 VA8 +aisl*	M2-11 VA8 +aisl
Reducción (%)	+61,70	+41,07	+11,03	+6,02	+5,53	0,00	-17,91	-22,97	-40,24	-46,61	-57,50	-70,70
Total (MJ)	1486,47	1296,83	1020,68	974,56	970,13	919,26	754,63	708,07	549,31	490,84	390,72	269,30

14

Con relación a los consumos de refrigeración para mantener la temperatura de 22 °C durante el verano, como siempre, los efectos son más evidentes que con la calefacción, siendo en general los consumos muy bajos. Los módulos de menor consumo son el módulo 11 y el 6, idéntico en su configuración constructiva pero con especies vegetales distintas.

El estudio de los consumos totales permite valorar como los mejores, también en las condiciones de un clima calido y frío como el de Madrid, a los módulos 7 y 11, de nuevo. En las tablas de la figura 14 aparecen reseñados algunos resultados de consumos comparando los datos de los 12 módulos monitorizados, los seis la fase 4 y los seis de la fase 5. Se ha tomado como referencia una cubierta invertida (INV), quedando a la derecha los datos de las cubiertas con mejor comportamiento, en orden creciente, y, a la izquierda, los de peor comportamiento.

La primera tabla lleva los datos de calefacción, la segunda los de refrigeración y la tercera los totales.

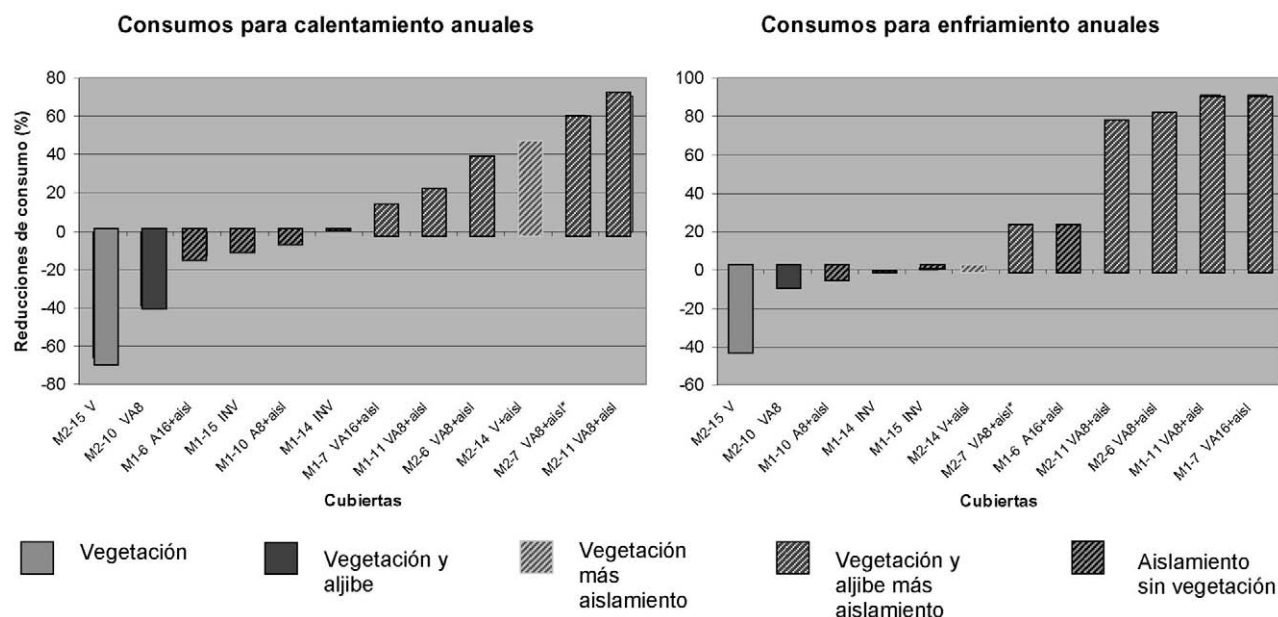
Gráficamente, empleando un diagrama de barras, también se pueden ver los resultados. Si, además señalamos las cubiertas que

llevan aislamiento, vemos que las peores, las que han quedado a la izquierda, son las no aisladas. Esto nos permite aseverar como conclusión inicial, que el aislamiento no debe desaparecer de las cubiertas ecológicas, a pesar de la capacidad aislante propias del sustrato y la vegetación, pero también que, siendo el aislamiento imprescindible, su uso exclusivo sin presencia de vegetación no es suficiente para alcanzar óptimos resultados.

Como conclusión final se puede decir que, en condiciones de invierno, las cubiertas que tienen mejor comportamiento son las cubiertas aljibe de 8 cm, aisladas, independientemente de la posición del aislante, con reducción del consumo del 70,65% con respecto a una cubierta invertida. En condiciones de verano, las óptimas con las cubierta ecológica con aljibe de 8 ó 16 cm, aisladas, que producen una reducción del 91,93% del consumo con respecto a una cubierta invertida. Finalmente, evaluando el consumo anual, tanto de calefacción como de refrigeración, la óptima es la cubierta ecológica con aljibe de 8 cm, aislada que producen una reducción del 70,70% del consumo con respecto a una cubierta invertida. La cubierta vegetal, construida con esta tecnología, se convierte en un nuevo material de construcción capaz de aportar grandes ventajas medioambientales.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Appl, R.: "A green roof once again. A notable building in Unterensingen near Stuttgart West", en Deutsche Bauzeitschif. V. 43, N° 6, Alemania, Jun.1995. Págs. 139- 142.
- (2) Bolimann, E.: "More ecology with roof gardens: Green roofs, our chance", en Haus Tech. V. 3: 5. Suiza, May. 1990. Págs. 14-16.
- (3) Britto, C.; Neila, J.; Bedoya, C.: "Experimental project for ecological cover in Madrid", en Proceedings of WREC 1998 Conference. London, Elsevier Science Ltd, 1998, Págs. 1379 - 1381.
- (4) Britto, C., Neila, J., Machado, V.: "La cubierta ecológica como material de construcción", Informes de la Construcción. Vol. 52, n° 467 (2000), pp. 15-29.



15

15.- Diagramas de barras de los consumos energéticos comparados con los de una cubierta invertida.

- (5) Briz, J.: Naturación urbana: Cubiertas ecológicas y mejora medioambiental. Madrid, Mundi-Prensa Libros S. A., 1999.
- (6) Coombs, J.; Hall, D.O.: Técnicas de Bioproduktividade e fotossíntese. Fortaleza, Edições Universidade Federal do Ceará, 1989.
- (7) Der Dachdeckermeister: A new green roof substrate. Green Network. V. 53, N° 9, Alemania, 2000, Págs. 81-82.
- (8) Dodd, J.: "Leaf cover to external walls for different climatic zones", en Energy and Buildings, V. 14, Lausanne, Elsevier, 1989.
- (9) Duesdieker, W.: "Green Roofs, Protective cover and thermal insulation", en Klima, V. 43:18, Alemania, Sep. 1988. Págs. 50 -59.
- (10) Eumorfopoulou, E., Psomas, F.A.; Tsakiris, N.K.: Comparative assessment of the thermal behaviour of a planted roof vs. a bare roof in Thessaloniki. Laboratory of Building Construction and Physics Faculty of Civil Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, 1999.
- (11) Fast, E.: "Green growth the rooftops", en Gale Group Magazine DB (TM). Pensilvania, EUA, Dic. 2000.
- (12) Haefeli, P. et al: "Experiences with green roof in Switzerland", en Proceedings of PLEA '98, Environmentally Friendly Cities. Lisboa, 1998.
- (13) Hutchinson, B. A.; Taylor, F. G.; Wendt, R. L.: Use of Vegetation to Ameliorate Building Microclimates: An Assessment of Energy Conservation Potentials. Oak Ridge National Laboratory Report ORNL/CON 87. 1982.
- (14) Johnson, S. B.: The Roof Gardens of Broadway's Theatres, 1883 to 1941. New York University. Volume 45102- A of Dissertation Abstracts International. 1984.
- (15) Johnston, J.; Newton, J.: Building green, A guide to using on Roofs, Walls and Pavements. Londres, The London Ecology Unit, 1991.
- (16) Jouan, M. O.: "Toiture vegetalisee a entretien reduit", en Cahiers techniques du Batiment, N° 156. Francia. 1994. Págs. 55- 56.
- (17) Machado, M. V.; Britto, C.; Neila, F. J.: "Thermal behaviour simulation of models with ecological roofs" en Proceedings of PLEA 99 Conference. V. 2, Londres, James&James Ltd, 1999. Págs. 611-616.
- (18) Patrike, K.: "Establishing an extensive green cover on roofs a comparison under practical conditions, Results of a model experiment carried out over a period of three years", en Rasen, N° 20 :2, Alemania, 1989. Págs. 37- 41.
- (19) Palomo del Barrio, E.: "Analysis of the green roofs cooling potential in buildings" en Energy and Buildings. V. 27, Lausanne, Elsevier, 1998.
- (20) Papadopoulos, M.; Axarli, K.: "Energy efficient design and passive solar systems" en Building Physics II. Grecia, Thessaloniki Aristotle University, 1992.
- (21) Schiedhelm, M.: "Roof gardens: observation of roof gardens on the buildings of the Free University of Berlin over a period of twenty years", en Deutsche Bauzeitung. V. 119, N° 8, Alemania, Ago. 1985. Págs. 48- 49.

* * *